

# EFFETS DES SURFACES MICRO-NANOSTRUCTURÉES SUR L'IMPACTION MONODISPERSÉE DE BILLES DE LATEX

A. Al Najjar<sup>\*123</sup>, F. Marty<sup>1</sup>, E. Algre<sup>1</sup>, P. Didier<sup>2</sup>, E. Gehin<sup>2</sup>, S. Moularat<sup>3</sup> et C. Motzkus<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univ Gustave Eiffel, ESYCOM, ESIEE Paris, Cite Descartes, 93162 Noisy le Grand, France

<sup>2</sup>Univ Paris Est Creteil, CERTES, F-94010 Creteil, France

<sup>3</sup>Laboratoire microbiologie, CSTB, 77447 Marne la Vallée Cedex 2, France

\*Courriel : antonella.alnajjar@esiee.fr

## TITLE

**Effects of micro-nanostructured surfaces on the impaction of monodispersed latex beads**

## RESUME

L'objectif de cette étude est d'observer l'effet des surfaces micro-nanostructurées sur l'impaction monodispersée de billes de latex. Afin d'étudier cet effet, des surfaces d'intérêt ont été fabriquées à la salle blanche de l'ESIEE et un banc d'impaction a été mis en place au CSTB. Plusieurs paramètres influent sur le spot d'impaction des billes de latex lors de l'impaction tel que le temps d'impaction, le diamètre des billes de latex, et la structure des micropiliers. La caractérisation des surfaces avant et après impaction est effectuée à l'aide d'un microscope optique, permettant d'identifier les différents profils du spot d'impaction. Pour une surface plane de silicium (Si), un profil annulaire est obtenu en raison de l'effet de rebond lors des impactions. Cependant, cet effet peut être atténué en modifiant la structure de la surface d'impaction. Ainsi, lors des impactions sur des surfaces micro-nanostructurées, telles que le black silicium (bSi) ou des micropiliers, l'effet de rebond est limité et un spot de billes de latex est obtenu.

## ABSTRACT

The objective of this study is to observe the effect of micro-nanostructured surfaces on the monodisperse impaction of latex beads. In order to study this effect, surfaces of interest have been fabricated in the ESIEE clean room and an impaction bench has been set up at CSTB. Several parameters influence the impaction spot of the latex beads during impaction such as the impaction time, the diameter of the latex beads, and the structure of the micropillars. The characterization of the surfaces before and after impaction is performed using an optical microscope, allowing to identify the different profiles of the impaction spot. For a flat silicon (Si) surface, an annular profile is obtained due to the important rebound effect during impactions. However, this effect can be mitigated by modifying the structure of the impaction surface. Thus, when impaction on micro-nanostructured surfaces, such as black silicon (bSi) or micropillars, the rebound effect is limited and a latex bead spot is obtained.

**MOTS-CLÉS** : impaction, billes de latex, micro-nanostructurées/ **KEYWORDS** : impaction, latex beads, micro-nanostructured

## 1. INTRODUCTION

Le problème majeur des impacteurs à inertie est le rebond des particules sur la plaque d'impaction. Ce phénomène peut être à l'origine d'une baisse d'efficacité de collecte, de divergences entre les diamètres de coupe déduits théoriquement et expérimentalement, et d'un agrandissement de la zone d'impaction. La pratique courante est d'utiliser des matériaux collants comme l'huile/la graisse sur la plaque d'impaction pour réduire cet effet ou des structures de type fibre-poreuse pour permettre la pénétration des particules dans les structures, réduisant ainsi l'effet de rebond (Baron and Willeke, 1993). Les méthodes de microfabrication permettent de créer des zones d'attachement spécifiques sur la surface où des micro/nanostructures (i.e. bSi) peuvent être développées. Certaines études ont démontré que pour une configuration dense de micropiliers, l'efficacité de collecte est plus importante que pour les autres configurations (Hajizadehmotlagh and Paprotny, 2020). Afin de valoriser l'effet des surfaces micro-nanostructurées sur l'impaction des billes de latex, plusieurs surfaces d'intérêt sont fabriquées. La surface lisse de Si est considérée comme surface de référence, puis modifiée afin d'obtenir des nano et microstructure tel que du bSi ou des micropiliers de Si. Ensuite, un banc d'impaction est mis en place pour le prélèvement des billes de latex et les surfaces d'intérêt ont été caractérisées.

## 2. FABRICATION DES SURFACES MICRO-NANOSTRUCTURÉES

Dans cette étude, le bSi a été fabriqué par gravure du silicium dans un plasma de SF<sub>6</sub> / O<sub>2</sub> en mode cryogénique (-110°C). La Figure 1 (a) illustre la structure bSi obtenue. Dans cette méthode, le mélange de plasma produit des ions SF<sub>x</sub><sup>+</sup> et des radicaux F\* qui diffusent vers le silicium et entraînent une réaction de gravure chimique isotrope, tandis que l'oxygène produit des radicaux O\* qui contribuent à la diffusion et forment une couche de passivation sous forme de Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>F<sub>z</sub> pour entraver la gravure. Bien que cette couche soit sensible à SF<sub>x</sub><sup>+</sup>, elle ne peut pas être éliminée par les radicaux F\*. L'attaque est plus prononcée sur les

surfaces horizontales que sur les parois verticales en raison de la trajectoire des ions. La compétition entre deux cycles (rapport de débit de gaz  $SF_6/O_2$ , temps, température, tension de polarisation et puissance RF) permet d'obtenir une gravure anisotrope à fort facteur d'aspect, qui prend la forme de bSi en optimisant les paramètres de procédé. bSi (Nguyen et al., 2012). En outre, il convient de mentionner que la fabrication de bSi permet de produire cette surface unique à grande échelle.

D'autre part, la fabrication des micropiliers est réalisée en 3 étapes : la première est la photolithographie consiste à répliquer un motif dans une couche de polymère photosensible étalée sur un wafer de silicium (Chen and Pépin, 2001). Sur un wafer de silicium, une résine de  $1.1 \mu m$  d'épaisseur est déposée à l'aide d'un équipement de de spin-coating à une vitesse de 3500 tours/min pendant 30 s. Après recuit de 90 sec à  $110^\circ C$  sur plaque chauffante, cette résine est placée en contact avec le masque qui contient les motifs d'intérêt sous exposition UV pendant 3,6 s. le wafer est ensuite placé dans une solution basique pendant 1min afin d'éliminer la résine n'ayant pas été polymérisée. L'étape suivante est réalisée par gravure profonde du silicium (DRIE) pour graver le wafer de silicium à l'endroit où la résine est éliminée et ainsi obtenir nos motifs finaux. Enfin, la dernière étape consiste à retirer la résine par acétone et à rincer le wafer à l'eau déionisée. La Figure 1 (b) montre la structure des micropiliers fabriquée.

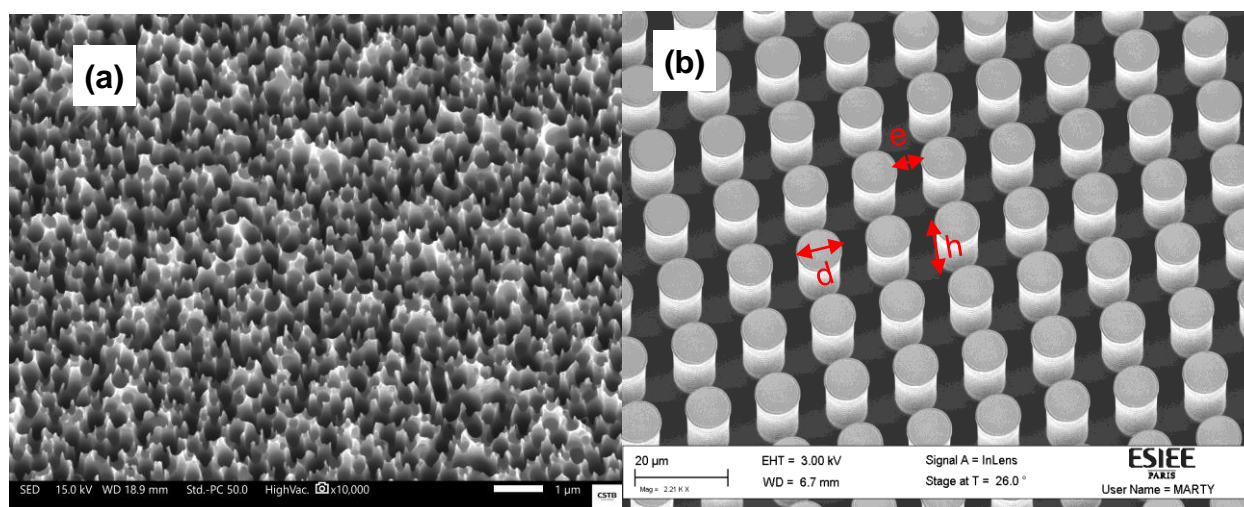


Figure 1. Images MEB : (a) nanostructure de bSi obtenue par traitement DRIE et (b) micropiliers de Si (tel que  $d$  diamètre et  $h$  hauteur des micropiliers, et  $e$  l'espacement entre deux plots) utilisés dans cette étude.

### 3. BANC D'IMPACTION

Un banc d'impaction de billes de latex, schématisé à la Figure 2, est mis à disposition afin de réaliser les essais. Ce banc consiste en plusieurs étapes. La méthode du nébuliseur (atomiseur) de Collision a été utilisée, il s'agit d'une technique reconnue pour son efficacité à l'aérosolisation de divers liquides. De l'air sec filtré et comprimé est utilisé pour aspirer la solution dans le jet d'air où le liquide est brisé en gouttelettes. Ensuite, les gouttelettes sont projetées contre la paroi interne de la chambre de nébulisation afin d'éliminer la plus grande fraction de gouttelettes, parmi lesquelles de plus petites gouttelettes sont entraînées dans le flux d'air et quittent la chambre de nébulisation (May, 1973).

Des billes de latex de différentes tailles ont été testées. Pour se faire, une solution contenant des billes de latex est obtenue en diluant un volume de suspension mère de billes de latex dans de l'eau ultra-pure ASTM (American Society for Testing and Materials International) type 1 (ARIUM mini, SARTORIUS). La suspension de la solution de billes de latex a été préparée avec de l'eau ultra-pure dans une chambre de nébulisation. Les gouttelettes d'eau et de billes de latex ainsi produites dans le nébuliseur sont injectées dans la chambre de dilution avec de l'air comprimé ( $10 L/min$ ), où l'eau des gouttelettes est complètement évaporée laissant uniquement les billes de latex en suspension.

Les billes de latex en suspension dans l'air sont échantillonnées par l'impacteur et caractérisées simultanément au moyen d'un APS (Aerodynamic Particle Sizer, TSI). Les données APS sont traitées par le logiciel AIM (aerosol instrument manager), où le MMAD (mean median aerodynamic diameter) des billes de latex est déterminé. Dans cette étude, deux tailles de billes de latex sont utilisées, où leurs MMAD sont de  $0,75 \pm 0,01 \mu m$  et  $2,82 \pm 0,01 \mu m$ . La génération a permis une production stable et monodispersée de billes de latex.

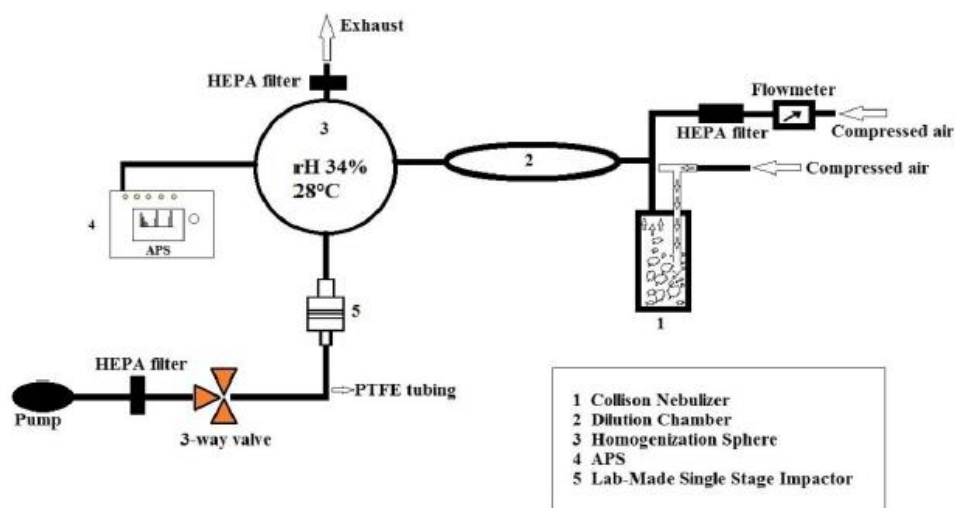


Figure 2. Le banc d'impaction utilisé pour le prélèvement de billes de latex (Soysal, 2019)

#### 4. CONCLUSION

Les surfaces d'intérêt sont caractérisées avant et après impaction par des photos prises en microscope afin de comparer les deux états des surfaces. Les paramètres qui se mettent en jeu durant le prélèvement des billes de latex sont le temps d'impaction, le diamètre des billes de latex, et la structure des micropiliers (diamètre, hauteur des micropiliers et l'espacement entre les deux plots). Etant donné que le rebond devient plus important pour les plus grands diamètres de billes de latex, le temps d'impaction est différent pour chaque diamètre afin de pouvoir identifier le spot. A l'aide du microscope, le profil d'impaction pour chaque diamètre de billes de latex est identifié en fonction des différents paramètres utilisés.

La comparaison du spot d'impaction entre le silicium et les différentes surfaces d'intérêt permet d'observer l'effet des surfaces micro-nanostructurées sur la capture des particules. Lorsque la rugosité de la surface et la densité des plots augmentent, le rebond diminue et la concentration des particules capturées sur un spot change par rapport à la surface de Silicium plane. Enfin un changement dans la taille du spot est observé entre la surface Silicium plane et les différentes structures de micropiliers.

Baron, P.A., Willeke, K. (Eds.), 1993. *Aerosol measurement: principles, techniques, and applications*, 2nd ed. ed, A Wiley-Interscience publication. Wiley-Interscience, New York, N.Y.

Chen, Y., Pépin, A., 2001. Nanofabrication: conventional and nonconventional methods. *Electrophoresis* 22, 187–207. [https://doi.org/10.1002/1522-2683\(200101\)22:2<187::AID-ELPS187>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/1522-2683(200101)22:2<187::AID-ELPS187>3.0.CO;2-0)

Hajizadehmotlagh, M., Paprotny, I., 2020. Effect of micropillars with varying geometry and density on the efficiency of impaction-based quartz crystal microbalance aerosol sensors. *Journal of Applied Physics* 127, 184903. <https://doi.org/10.1063/1.5125895>

May, K.R., 1973. The collision nebulizer: Description, performance and application. *Journal of Aerosol Science* 4, 235–243. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(73\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0021-8502(73)90006-2)

Nguyen, K.N., Abi-Saab, D., Basset, P., Richalot, E., Malak, M., Pavy, N., Flourens, F., Marty, F., Angelescu, D., Leprince-Wang, Y., Bourouina, T., 2012. Study of black silicon obtained by cryogenic plasma etching: approach to achieve the hot spot of a thermoelectric energy harvester. *Microsyst Technol* 18, 1807–1814. <https://doi.org/10.1007/s00542-012-1486-0>

Soysal, U., 2019. *Specialty: Environmental Science and Technology* by 169.